

東北大学大学院工学研究科博士前期課程履修プログラム電子パッケージコースの構築

著者	渡邊 龍三, 岩崎 信, 吉野 博, 野澤 庸則
雑誌名	教育情報学研究
号	2
ページ	1-5
発行年	2004-03
URL	http://hdl.handle.net/10097/40949

東北大学大学院工学研究科博士前期課程履修プログラム 電子パッケージコースの構築

渡邊 龍三* 岩崎 信*

吉野 博** 野澤 庸則**

* 東北大学大学院教育情報学研究部

** 東北大学大学院工学研究科

概要：東北大学インターネットスクールのための専攻横断の履修プログラムである電子パッケージコースについて、その技術教育的背景、カリキュラムの構成、シラバス、履修要件および単位認定ガイドライン等をまとめた。本電子パッケージコースは電子工学、機械工学、材料工学および化学工学にまたがる極めて学際性の高いカリキュラムが特徴であり、様々な分野からの受講生が見込まれたため、時間的にも地域的にも受講の自由度が要求されるが、インターネットを用いた教育プログラムがこの要求を満たすことを本報告は主張している。これまでの2年間にわたる実践からわかってきた問題点についても指針を与えている。

キーワード：イーラーニング、東北大学インターネットスクール、学際的教育プログラム、次世代情報技術

1. はじめに

近年電子装置はますます小型化、高性能化されているが、電子パッケージ技術はそれらを実現するための中枢となる技術である⁽¹⁾。産業の現場では本技術の急速な進歩に対応するため多大な努力が払われている。しかし、一方において電子パッケージ技術は複数の工学分野を広く横断する学際的な専門分野を成しており、工学の分野においてそれに対応する既存の学部や専攻は未だないのが現状である。米国のジョージア工科大学パッケージ研究所⁽²⁾の試算によれば、次世代の情報技術は現在の100-1000倍の、情報処理速度と記憶容量を必要としている。この技術に携わる研究技術者の必要数は、この2年間で3800人であり、2008年には90,000人の研究技術者が必要であると見込まれている。然るに現状では、大学等で電子パッケージに関する系統的な教育をうけて社会に出て行く人数は年間300人に過ぎない。早急な人材育成体制の整備が必要である。このような背景のもとに、1998年ワシントン大学のM.Tayaの提案により国際シンポジウム⁽³⁾が開催され、電子パッケージ技術者教育の現状の把握および問題点の洗い出しが行われ、遠隔教育の必要性が強く認識された。さらに、2000年に開催された教育と研究に関

する東北大学国際シンポジウム⁽⁴⁾において、ITの長足の進歩に裏付けられたインターネットを利用する高等教育および研究についてのセッションが組まれ、さまざまな観点から発表と討議が行われた。著者の一人(渡辺)そのセッションで工学研究科における学際プログラムとしての電子パッケージコース案を発表し、大きな反響を得た。セッションでの討議成果は会議最終日に発表された東北大学宣言にも“IT教育の推進”という形で取り入れられ、今日の教育情報学研究部・教育部および東北大学インターネットスクール(ISTU)の設立につながったわけである。本報告は東北大学大学院工学研究科において取り組みが行われ、実現したISTUプログラム“電子パッケージ”について、その技術的背景、カリキュラム、教科シラバス、履修・修了要件等を記し、今後の参考に供する目的で執筆したものである。

2. 技術的背景

電子パッケージとは、IC(集積回路、チップ)の電気配線、その保護あるいは冷却を目的に、ICチップと他のコンポーネントを電子回路設計に基づいてプリント配線基板上に配置・積層・結線した後、積層間隙あるいは全体をポリマーなどで埋めて電気

的および機械的に一体化した電子部品である。電子パッケージはすべての電子装置の主要構成物であり、トランジスタの超精密加工品である IC チップの機能を活かし、高性能電子装置を安定に作動させるための一種の電子システムを成している⁽⁵⁾。従来の 100~1000 倍の集積度をもつ次世代電子パッケージは、大きな記憶容量と高速の処理速度が要求される近未来 IT のキーテクノロジーとして大いに囑望されている。一方、IC それ自体の集積度もいわゆるムーアの法則にしたがって年々増大し、いまや 1 チップあたり 1 億個のトランジスタ（電子回路間の距離が 0.1 ミクロン程度）が作りこまれる段階に至っている。しかし、微細に作りこまれた電子回路間の距離が 0.1 ミクロン程度になると、量子効果により回路間の絶縁性が維持できなくなり、トランジスタが機能喪失に至るという解決できない大問題が起こる⁽⁵⁾。この問題に対しては電子パッケージの集積度を上げることが現状における唯一の解決策である。電子パッケージ技術者および研究者の育成が急がれるゆえんである。

3. 個々の技術課題

図 1 に典型的な電子パッケージの例として携帯電話の CPU の断面写真を示した。ポリマーで封止された IC チップが多層構造をもつプリント配線基板上に設置され、金属導通路で基板の導電端子と結線されているのがわかる。電子パッケージのこのような構造はさまざまな材料加工法により形成されたものであり、それ自体日々改良がなされているものであるが、ここでは特に現状において大きな問題とさ

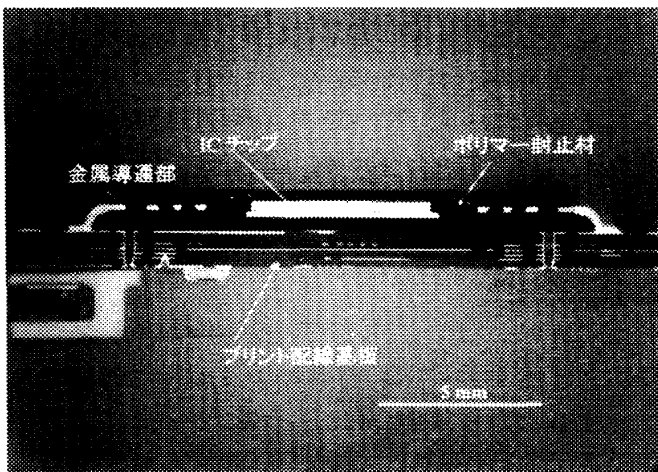


図 1 携帯PHSワンチップマイコンパッケージ断面写真

れているいくつかの例を挙げ、それらがどのような工学分野と関連しているのかを述べる。

3-1 IC チップからの熱の除去

IC チップは小さなところに無数の電子回路が作りこまれているため、通電に伴うジュール熱が発生し、摂氏 100 度を超える温度に加熱される場合がある。このような温度上昇がおこると、①トランジスタそれ自身の機能が劣化し変質する、②IC チップと基板との熱膨張係数が一般に異なるため、熱応力が発生してチップが破壊することがある、③加熱冷却が繰り返されるといわれる熱疲労により半田結合部に亀裂が入り結合が切断する、あるいは接着部が剥離する、などの現象が発生しその結果パッケージの電子機能の喪失に至ることになる。このようなわけで IC チップからの熱の除去はパッケージエンジニアの最大の関心事のひとつになっている。この問題には材料科学、伝熱工学、材料力学的な諸問題が含まれており、その解決にはそれぞれの専門分野の知識が必要である。

3-2 アルファ線エラー

トランジスタにアルファ線があたるとそれが通過した跡に電子と正孔の対が形成される。トランジスタの動作はネガティブな電荷をもつ電子とポジティブな電荷をもつ正孔の移動に基づくものであるゆえに、このようなアルファ線の作用はトランジスタ (IC チップ) の誤動作を招く。具体的には蓄積データの劣化や論理状態の反転が起こる。このアルファ線エラーはパッケージ材料中にごく微量 (~50ppm) 含まれるウランやトリウムが放出するアルファ粒子が原因となっている。これに対する対策としては、構成部材へのアルファ線粒子吸収剤の塗布、Si 原材料の選択、あるいは原料の精製 (ppm → ppb) などが考えられる。これらの実現のためには材料精製学、材料加工学および材料化学の知識が必要になる。

3-3 エレクトロマイグレーション

Si チップ上に形成された Al 配線はきわめて微細であり、たとえ信号処理や電力として流す電流は微小であっても、Al 回路線には単位平方センチメートルあたり 100 億アンペア程度の大きな電流が流れることになる。電流は電子の流れであるからその運動量が原子に伝達され、それに誘起されて原子の流れが生ずる。この場合、流れの上流では物質の不足

が生じ、一方下流では物質の過剰が生ずる。物質の不足が生じた部分には空隙形成され、回路が切断される。原子の堆積がおこる下流部では回路上に出っ張りが生じ、隣り合う線同士間に短絡が起こる。このようなエレクトロマイグレーションによる欠陥形成を解決するためには材料科学、物質輸送論、連続体の力学などの広い専門分野にわたる知識を要する。

上に紹介した例も含めて電子パッケージにおける課題を列挙すると次のようになる。すなわち、材料の選択・材質制御、種々の材料加工技術、腐食防食、インターコネクション（結線方式）、熱管理、応力解析、疲労破壊、エレクトロマイグレーション、アルファ線エラー、システムパッケージデザイン、非破壊検査などが技術サイドから挙げられる。さらに、パッケージ技術は生産現場と密接に関連しており、かつニーズが市場動向により影響を受け易い傾向もあるので、パッケージの信頼性評価、品質管理、コストパフォーマンスの評価およびマーケティングなども研究課題になる。

4. 教育カリキュラムの設計

4-1 学際的な教育プログラムの必要性

電子パッケージにおける諸課題を総合的に考えると、電子パッケージ技術者や研究者の育成には工学における多数の専門分野の知識が必要であることがわかる。すなわち、電子工学、機械工学、材料工学、化学工学およびマーケティング工学などである。具体的に専門分野を挙げると、集積回路設計、パッケージデザイン、材料加工と材料物性、熱および応力管理、品質管理、等となる。さらに具体的な教科目として、材料科学、ポリマー化学、材料加工学、熱力学、材料力学、伝熱工学、電磁気学、集積回路学、電子システムパッケージ、コンピュータグラフィックス／コンピュータ援用設計、アセンブリ／熱管理、パッケージ性能試験などが挙げられる。

4-2 電子パッケージコースカリキュラム

以上の考察から、電子パッケージコースカリキュラムとして、専門家の意見を取り入れた上で、基礎科目として材料科学、ポリマー化学、材料加工プロセス学、電子パッケージ熱力学、応用材料力学、マイクロ伝熱工学、

電磁力学、集積回路工学を各2単位の授業科目とする。一方、専門科目として電子システムパッケージ、コンピュータグラフィックス／CAD、アセンブリ／熱管理、パッケージ性能試験／評価を各2単位の科目とする。これらの教科目は基礎的な素養に重点が置かれており、現状における電子パッケージの急速な進歩を踏まえても、技術者・研究者の育成には十分であると考えられる。受講者によっては上記の一部の科目、特に基礎科目は学部の際に履修している可能性があるため、研究科ごとに履修科目を選択させることも考えられる。また、大学院修士学位の取得には通常、科目履修に加えて所属専攻での特別研修（通常2～4単位）および修士論文研修（通常6～8単位）が課せられるそれらをすべて含めて

表1 東北大学大学院工学研究科における電子パッケージコースカリキュラム

「電子パッケージ」コース履修・修了要件規程

(平成14年8月30日 東北大学工学研究科委員会承認)

本コースでは、専攻の枠を超えて電子パッケージに関する必要な授業科目を開講する。工学研究科前期2年の課程を修了するためには、専攻に所属し、当該専攻が定める授業科目を履修し、修了要件を満たさなければならない。このため、以下の措置を講ずる。

1. 「材料科学」以下8科目は、参画する専攻の専門基盤科目として規定する。
2. 「電子システムパッケージ」以下4科目は、参画する専攻の専門科目として規定する。
3. 「電子システムパッケージセミナー」及び「電子パッケージ修士研修」は、参画する専攻のセミナー及び修士研修として規定する。
4. 学生の所属専攻は、指導教官の所属する専攻とし、修了要件、授業科目の履修方法・単位認定、研究指導等の詳細は、当該専攻の定めによる。

授業区分	授業科目名	講義その他	単位数		履修方法等
			必修	選択必修	
専門基盤科目	材料科学	〃		2	左記授業科目及び所属専攻の専門基盤科目のうちから指定単位数以上選択履修すること。 機械・知能系5専攻：8単位 電気系2専攻：6単位 応用物理学専攻：8単位 化学・バイオ系4専攻：6単位 材料・物性系3専攻：10単位
	ポリマー化学	〃		2	
	材料加工プロセス学	〃		2	
	電子パッケージ熱力学	〃		2	
	応用材料力学	〃		2	
	マイクロ伝熱工学	〃		2	
	電磁力学	〃		2	
	集積回路工学	〃		2	
	所属専攻（機械・知能系、電気系2専攻、応用物理学専攻、化学・バイオ系又は材料・物性系）の専門基盤科目				
専門科目	電子システムパッケージ	講義		2	左記授業科目、所属専攻の専門科目及び関連科目のうちから指定単位数以上選択履修すること。 機械・知能系5専攻：12単位（うち専門科目は2単位以上） 電気系2専攻：10単位 応用物理学専攻：特別研修2単位必修 化学・バイオ系4専攻：14単位（うち専門科目は4単位以上） 材料・物性系3専攻：10単位
	コンピュータグラフィックス／CAD	〃		2	
	アセンブリ／熱管理	〃		2	
	パッケージ性能試験・評価	〃		2	
	所属専攻（機械・知能系、電気系2専攻、応用物理学専攻、化学・バイオ系又は材料・物性系）の専門科目				
	電子パッケージセミナー	研修	2、4又は6		必修：所属専攻のセミナーの単位
関連科目	電子パッケージ修士研修	研修	6又は8		必修：所属専攻の修士研修の単位
	本研究科委員会が認めたもの				

注) 履修・修了要件：専門基盤科目及び専門科目20単位以上を含めて30単位以上。

表2 各系履修・修了要件単位数

	専門基盤	専門及び関連		セミナー	修士研修	計
		専門	関連			
機械・知能系	8～	12～2	0～10	2	8	30
電気系	6～	10～0	0～10	6	8	30
応用物理学専攻	8～	10～0	0～10	特別 研修 2	セミ ナー 2	30
化学・バイオ系	6～	14～4	0～10	4	6	30
材料・物性系	10～	10～0	0～10	4	6	30

カリキュラムを作成することになる。電子パッケージカリキュラムは東北大学大学院工学研究科においてそれぞれの関連専攻独自のカリキュラム等を考慮して綿密に検討され、表1、表2に示したように、「電子パッケージ」コース履修・修了要件規定として決定された。各専攻の事情を踏まえてきめ細かく規定されているのがわかる。それぞれの科目のシラバス書式は、教室授業とまったく同様に90分授業15コマとして作成され、科目名、担当教官、単位、科目内容概要、授業計画、教科書および参考書、成績評価法、授業の進め方、および他の履修要望科目等が記載されている。

5. 授業ウェブコンテンツの制作、配信および受講

電子パッケージコースのウェブコンテンツは静止画像、講師動画および音声の3点セットからなるISTUの標準コンテンツ⁽⁶⁾を原則としており、IDTU支援室スタッフの作業支援のもとに収録およびオンウェブ化作業が進められる。各授業の配信はISTUのサーバーを通じて行われる。受講生にはID番号とパスワードとが与えられ、自宅などのインターネットから授業にアクセスできる。受講資格、授業方法およびインターネットのアクセス条件は、次のイ)、ロ)に掲げる通りである。

イ) 受講資格および受講条件

- * 現状における大学院博士前期課程受験資格と同じとする。
- * 受講生は100MHz以上、50M程度のメモリと1G程度の容量のハードディスクのパーソナルコンピュータを所持すること。

- * 受講生は64kbps程度以上の送受信速度をもつインターネットWWWに接続できること。(ウェブ上での講義受信に際しては大学から提供するソフトあるいはフリーソフトを使用する)。

ロ) 使用するメディア、配信方式、授業方法

- * 基礎科目は原則としてインターネットWWW上で行う。ただし、一部の演習および実地研修は受講生が本大学に来て受講する。
- * 一部の科目はインターネット授業と対面授業の両者を併用する。

- * インターネット授業は原則として蓄積配信方式をとる。そのための授業ビデオおよび補足資料を用意する。質疑応答はメール上およびインターネットホームページ上で行う。

6. 現状における課題

ISTUの受講条件の中に、使用するPCの性能およびインターネットアクセス速度などを規定している。ISTUは原則として万人に開かれた教育システムを目指しており、現状におけるISDNのアクセス速度が標準となっている。しかし、実際のコンテンツは写真や複雑な図表が貼り付けられる場合が多く、通常の一般家庭におけるインターネットの能力ではどうしてもダウンロードに時間がかかり、受講がままならないということになる。この点はインターネットの高速化が普及すれば解決されることであろうが、やはりコンテンツのサイズをなるべく小さくする、いわゆる「軽く」しておく必要がある。これはインターネット授業に伴う問題点の氷山の一角に過ぎず、そのほかに、コンテンツ作成のためのソフトに伴うもの、ネットワークシステムの作動およびセキュリティに伴うもの、インターネット授業の講義方法に伴うもの、受講生と講師とのコミュニケーションに伴うもの、全体の教務管理に伴うもの等々、多種多様な課題が残されている。たゆまずに時間をかけて解決を図っていくことが望まれる。

7. あとがき

電子パッケージコースの実施母体である東北大学工学研究科は、インターネットを活用する教育を現状の対面授業に変わるものとしてではなく、新しい教育方法のひとつととらえている。従って現状では

その実施の判断は授業担当教官に委ねられている。しかし、電子パッケージコースはオンウェブコンテンツ以外には提供されていないので、本コースについてはオンウェブ授業が主体となる。このことは冒頭にも述べたように、急速に進展する電子パッケージ技術の教育方法として適しているということの他に、東北大学における IT 教育の推進という点においても極めて意義深い。実際に実施してみると、6 でのべたように予想できなかった問題点も出てきており、当分試行の期間が続くと思われるが、できるだけ早い時期に、完成されたコンテンツとして学内外に配信されることをのぞむ。

支援部局の教育情報学研究部における教育コンテンツ作成、配信システムの改善への努力に大いに期待したい。

引用

- (1) 例えば, Electronic Packaging and Interconnection Handbook, Third Edition, Ed.

by Charles A. Harper, MacGraw-Hill, New York, 2000.

- (2) Packaging Research Center (PRC, Georgia Institute of Technology, Home Page (<http://www.prc.gatech.edu/>)).
- (3) Workshop on Pacific Rim Distance Learning on Electronic Packaging and Microelectronics, June 18, 1999, Hawaii.
- (4) International Symposium on Research and Education in the 21st Century: The Role of Inter-University Academic and Student Exchange, August 18-25, 2000, Sendai, Japan.
- (5) Fundamentals of Microsystems Packaging, Ed. by Rao R. Tummala, MacGraw-Hill, New York, 2001, pp.3-8.
- (6) 東北大学インターネットスクール (ISTU) ホームページ (<http://www.istu.ac/>).

Design of On-web Master Course Program "Electronic Packaging" at the Graduate School of Engineering Tohoku University

Ryuzo Watanabe , * Shin Iwasaki , * Hiroshi Toshino ** , Tsunenori Nozawa ***

* Graduate School of Educational Informatics

** Department of Architectue and Building Engineering, Graduate School of Engineering, Tohoku University

*** Department of Bimolecular Engineering, Graduate School of Engineering, Tohoku University

The e-learning program for "electronic packaging" designed as an e-learning program of the Internet School of Tohoku University (ISTU), was briefly reviewed. The technological background, curriculum and syllabus, as well as requirements for class registration and the credit system for finishing the course to be awarded master degree were described. It was pointed out that the electronic packaging technology needs an interdisciplinary knowledge encompassing various fields of engineering; electronics, mechanical engineering, materials science, and chemical and metallurgical processing, and that this requirement will be realized only by an education program via internet. The specific problems pertaining to the present e-learning program were also discussed.

Key words: e-learning, ISTU, interdisciplinary education program, next-generation information technology